

(61)

Int. Cl.:

H 01 s, 3/18

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

(52)

Deutsche Kl.: 21 g, 53/08

(10)

# Offenlegungsschrift 1514 507

(11)

Aktenzeichen: P 15 14 507.0 (S 98203)

(21)

Anmeldetag: 15. Juli 1965

(22)

Offenlegungstag: 14. Mai 1969

(43)

Ausstellungsriorität: —

(30)

Unionspriorität

(32)

Datum:

(33)

Land:

(31)

Aktenzeichen:

(54)

Bezeichnung: Verstärker für im Bereich der optischen Frequenzen gelegene Wellen

(61)

Zusatz zu: —

(62)

Ausscheidung aus: —

(71)

Anmelder: Siemens AG, Berlin und München, 8000 München

Vertreter: —

(72)

Als Erfinder benannt: Henkel, Dipl.-Chem. Dr. Hans-Joachim, 8520 Erlangen;  
Röß, Dipl.-Phys. Dr. rer. nat. Dieter, 8000 München

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): 12. 4. 1968

DT 1514 507

ORIGINAL INSPECTED

⊕ 5.69 909 820/676

7/80

P 15 14 507. 0

PA 65/2548

1514507

Verstärker für im Bereich der optischen Frequenzen gelegene Wellen

Die Erfindung betrifft einen Verstärker für im Bereich der optischen Frequenzen gelegene Wellen, bestehend aus einem kristallinen Halbleiterkörper mit lichtemissionsfähigem pn-Übergang, der die Form eines Prismas mit einer geraden Anzahl von Seiten hat, einer Vorrichtung für die Zufuhr elektrischer Pumpenergie, einem optischen Resonator und einer Koppelvorrichtung für das Signallicht, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines hierfür geeigneten Halbleiterkörpers.

Derartige Verstärker sind auch unter dem Fachausdruck "Diodenlaser" bekannt und ihre Wirkung beruht auf der Ladungsträgerinjektion eines in Flußrichtung belasteten pn-Überganges. Bei Belastung des pn-Übergangs in Flußrichtung emittiert der Übergang eine intensive, z.B. ultrarote Strahlung, wenn als Übergang ein GaAs-pn-Übergang verwendet wird. Die bei der Rekombination der Elektronen und Löcher freiwerdende Energie wird nämlich in Form von Lichtquanten abgestrahlt. Bei sehr hoher Dichte des Pumpstromes kann ein erheblicher Teil der Strahlung als

- 2 -

909820/0676

kohärente Strahlung ausgesandt werden; die Diode arbeitet dann als optischer Verstärker (Laser). Um dieses zu erreichen, müssen aber zwei Bedingungen erfüllt werden. Einerseits muß die Konzentration der injizierten Ladungsträger so groß sein, daß die Energiedifferenz der Quasi-Fermi-Niveaus der Elektronen und Löcher größer als die Breite der verbotenen Zone ist und andererseits muß die Diode in ein geeignetes Resonanzsystem eingeschlossen sein. Als Resonanzsystem werden hierfür meist zwei planparallele, reflektierende und zur Ebene des pn-Überganges senkrecht stehende Flächen des kubischen oder quaderförmigen Diodenkörpers benutzt, die eine Art Fabry-Perot-Resonator bilden. Diese reflektierenden Flächen werden entweder durch mechanische Politur oder durch Abspaltung von kristallographischen Flächen erzeugt. Die bei Strombelastung der Diode injizierten Ladungsträger rekombinieren nach kurzer Zeit unter Ausstrahlung inkohärenter Wellen in alle Richtungen. Einige Lichtwellen jedoch, die nahezu senkrecht auf die reflektierenden Flächen auftreffen, werden oftmals zwischen den beiden reflektierenden Wänden hin und her gespiegelt. Dabei zwingen sie andere ange regte Ladungsträger zu einer phasengleichen Aussendung weiterer Lichtquanten und werden dadurch verstärkt.

Eine polierte, an Luft grenzende Fläche eines Halbleiters hat nur ein etwa 30% betragendes Reflexionsvermögen. Durch diese mangelhafte Reflexion entstehen große Verluste, die den Stromschwellwert einer solchen Laser-Diode erheblich verschlechtert.

Diese Schwierigkeit ist auch für die üblicherweise verspiegelten planparallelen Flächen der schon seit längerer Zeit bekannten anderen Lasertypen, z.B. des Rubinlasers gegeben. Obwohl sich bei diesen Lasertypen ein Reflexionsvermögen von 99% leicht erreichen läßt, wurden Versuche zur Herabsetzung der durch mangelnde Reflexion bedingten

V rluste unternommen.

Es wurde ein Verstärker beschrieben, bei dem eine Spiegelung zwischen planparallelen Flächen vermieden wird. Der Laser wird als Toroid ausgebildet, dessen Oberfläche so beschaffen ist, daß für eine innerhalb des Toroids umlaufende Lichtwelle Totalreflexion an der Außenfläche eintritt. Die Herstellung einer toroidförmigen Struktur ist bei Diodenlasern jedoch nicht möglich, da die Gesamtfläche des pn-Überganges wegen der erforderlichen hohen Stromdichte etwa  $1 \text{ mm}^2$  kaum überschreiten kann. Ringe derart kleiner Abmessungen lassen sich mit den derzeit zur Verfügung stehenden Mitteln aus dem relativ spröden Halbleitermaterial nicht mit genügend sauberer Oberfläche herstellen.

Weiter ist ein derartiger Verstärker bekannt, dessen optischer Resonator durch einen Halbleiterkörper gebildet ist, der die Form eines dreieckigen, quadratischen oder sechseckigen Prismas hat, in dem sich der pn-Übergang in einer Ebene parallel zur Basis befindet, und in dem die Lichtwellen unter Totalreflexion an den Seitenwänden des Prismas umlaufen. Derartige Verstärker mit Prismen einer geradzahligen Seitenzahl weisen den Nachteil auf, daß neben den unter Totalreflexion am Umfang umlaufenden gewünschten Signalwellen sich zusätzliche störende, stehende Wellen zwischen planparallelen Seiten ausbilden.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe besteht darin, einen Verstärker zu realisieren, in dem derartige störende Wellen nicht auftreten können.

Diese Aufgabe wird, ausgehend von einem Verstärker für im Bereich der optischen Frequenzen gelegene Wellen, bestehend aus einem kristallinen Halbleiterkörper mit lichtemissionsfähigem pn-Übergang, der die Form eines Prismas mit einer geraden Anzahl von Seiten hat, einer Vorrichtung für die Zufuhr elektrischer Pumpenergie, einem optischen Resonator und einer Koppelyvorrichtung für das Signallicht, gemäß der Erfindung dadurch gelöst, daß das Prisma eine in seiner Mitte und wenigstens in der Ebene des pn-Überganges gelegene stehende Wellen zwischen parallel zueinander verlaufenden Seitenflächen des Prismas unterbindende Ausnehmung hat.

Zwar ist bei einem Halbleiterlaser prismatischer Form bereits eine Einkerbung in der Nähe einer Seitenwand bekannt, jedoch dient diese zur Unterdrückung des im Prisma am weitesten außen umlaufenden Schwingungstyps von Signalfrequenz und nicht der Unterdrückung stehender Wellen zwischen planparallelen Seitenflächen. Die bekannte Einkerbung muß auf das Randgebiet des Prismas beschränkt sein, damit die gewünschten, weiter innen umlaufenden Schwingungstypen von Signalfrequenz nicht behindert werden.

Für die praktische Ausführung des Erfindungsgegenstandes ist es vorteilhaft, wenn das Halbleitermaterial die Form eines sechsseitigen Prismas hat und der pn-Übergang eine kristallographische (111)-Fläche ist, und wenn außerdem die seitlichen Begrenzungsflächen kristallographische (110)-Flächen des Halbleiterkristalls sind.

Von besonderem Vorteil ist es, wenn der Außendurchmesser der Ausnehmung mindestens gleich der Breite einer seitlichen Begrenzungsfläche des Prismas ist.

Zur Verbesserung der Wärmeleitung ist es zweckmäßig, anstelle eines Loches eine ringförmig geführte Einsenkung in die Scheibe zuätzen, deren Tiefe etwas größer als die Tiefe des pn-Überganges unter der Oberfläche ist.

- Vorteilhaft ist es auch, wenn als Halbleitergrundmaterial ein in (111)-Richtung gezogener n-leitender GaAs-Kristall vorgesehen ist.

Ein besonders vorteilhaftes Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterprismas, bei dem die seitlichen Begrenzungsfächen des Prismas durch Spaltung des kristallinen Halbleitermaterials erzeugt werden, besteht darin, daß der durch Abspaltung prismatisch erzeugte Halbleiterkörper mit einer Wachsschicht überzogen wird, daß auf einer der Endflächen des prismatischen Halbleiterkörpers die Wachsschicht an der Stelle der Ausnehmung entfernt und die Ausnehmung mittels einer Ätzflüssigkeit in den Halbleiterkörper in der erforderlichen Tiefe eingebracht wird und daß nach Entfernung der Wachsschicht der mit der Ausnehmung versehene gereinigte kristalline Halbleiterkörper mit je einem sperrsichtfreien Anschluß für die beiden unterschiedlichen Leitfähigkeitsgebiete versehen wird.

Nachstehend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Die Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verstärkers. Sein Körper besteht aus einem GaAs-Kristall 1 in Form eines gleichseitigen sechsseitigen Prismas mit einer p-leitenden Schicht 2, einer n-leitenden Schicht 3 und einem pn-Übergang 4. Durch die p-leitende Schicht 2 und den pn-Übergang 4 bis in die

n-leitende Schicht 3 hinein ist eine ringförmige Nut 5 eingelassen. Die p-leitende Schicht 2 ist außerhalb der Nut 5 mit einer Schicht 6 aus einer Zinn-Zink-Legierung und die n-leitende Schicht 3 mit einer Zinnschicht 7 kontaktiert. Die Metallschichten 6 und 7 stehen mit den Polen einer Batterie 8 in galvanischer Verbindung.

Die Wirkungsweise des Verstärkers ist folgende. Die an die Elektroden 6 und 7 angelegte Gleichspannung der Batterie 8 belastet den pn-Übergang in Flußrichtung, wobei während der Rekombination der Elektronen und Löcher Energie in Form von Lichtquanten als kohärente Strahlung frei wird. Die meisten Wellen verlassen in irgend einer Richtung direkt oder nach einigen Reflexionen die Anordnung. Diejenigen Wellenzüge jedoch, die in der Ebene des pn-Überganges 4 zwischen den Mittelpunkten der seitlichen Begrenzungsflächen 9 des Prismas verlaufen, werden an diesen reflektiert und laufen, wenn der Einfallwinkel größer als der Grenzwinkel der Totalreflexion ist, ständiger Verstärkung im Prisma in beiden Umlaufsrichtungen um. Da auch die Totalreflexion nicht völlig verlustfrei ist, wird ständig Signallicht  $f_s$  abgestrahlt, welches beispielsweise durch Spiegel 10 parallel zur Prismenhauptachse gebündelt wird. Der Übersichtlichkeit halber sind nur drei Spiegel 10 in der Figur dargestellt.

Es ist daran gedacht, die Pumpenergie auch in Form von Gleichstromimpulsen zuzuführen.

Die Figur 2 zeigt einen erfindungsgemäßen Verstärker mit dem Halbleiterprisma 1 und der in ihm eingelassenen Nut 5, dem eine Auskoppelvorrichtung 11 für das Signallicht zugeteilt ist. Wie in der Figur 1 gezeigt, enthält der

Verstärker weiter eine p-leitende und eine n-leitende Schicht sowie eine Elektrode für jede dieser Schichten, die mit den Anschlüssen einer Batterie in Verbindung stehen.

Die Selbsterregung des Signallichts fs erfolgt in der anhand der Figur 1 beschriebenen Weise. Das Signallicht fs läuft unter Totalreflexion in beiden Richtungen im Prisma 1 um. An einer Seite 9 befindet sich die Auskoppelvorrichtung 11 im Abstand von etwa einer Signallicht-Wellenlänge. Dadurch wird die Totalreflexion aufgehoben und das Signallicht tritt aus dem Prisma 1 und der Auskoppelvorrichtung 11 aus. Mittels eines Hilfsspiegels 12 wird das ausgekoppelte Signallicht fs beider Umlaufrichtungen in eine Richtung gebündelt.

Die Figuren 3 bis 12 zeigen das Herstellungsverfahren für ein Halbleiterprisma 1.

Die Figur 3 zeigt einen in (111)-Richtung (Pfeil 13) gezogenen n-leitenden GaAs-Kristall 14, von dem senkrecht zur Ziehrichtung 13 Scheiben 15 abgespalten oder abgesägt sind, deren Trennflächen somit (111)-Flächen sind.

In der Figur 4 ist eine Scheibe 15 zusammen mit Zink 16 in eine zugeschmolzene und evakuierte Quarzampulle 17 eingebracht. Bei einer Temperatur von etwa 900°C wird das Zink 16 eine Stunde lang in die GaAs-Scheibe 15 eindiffundiert. Das Zink 16 dringt von allen Seiten gleichmäßig in die Scheibe 15 ein und erzeugt dergestalt in ihr einen pn-Übergang 4, daß ein innerer Kern aus n-leitendem Material 3 gleichmäßig von einer etwa 100/ $\mu$  dicken p-leitenden Schicht 2 umgeben ist (Figur 5).

Nunmehr wird eine Fläche dieser Scheibe soweit abgeschliffen, daß die p-leitende Schicht 2 auf dieser Seite entfernt ist (Figur 6).

Der Scheibe nach der Figur 6 wird eine Nadel 18 aufgesetzt, die mittels eines Hammerschlags eine exakt (110)-orientierte Bruchfläche erzeugt (Figur 7).

Die Scheibe nach der Figur 7 wird auf einen Drehtisch mit Winkelskala befestigt und die (110)-Bruchfläche parallel zur Schneide eines darüber befestigten Meisels orientiert. Anschließend wird nach einem Drehen des Tisches um jeweils  $60^\circ$  durch leichte Schläge auf den Meisel ein von (110)-Flächen begrenztes Sechseck 1 aus der Scheibe 15 herausgespalten (Figur 8). Der pn-Übergang 4 ist mit einer (111)-Fläche identisch.

Das Abspalten der (110)-Flächen kann auch nach anderen Verfahren, wie Aufdrücken einer Rasierklinge, erfolgen. Anschließend wird das Halbleiterprisma 1 mit einer Wachsmaske 19 überzogen (Figur 9).

In die Wachsmaske 19 wird zentrisch ein ringförmiger Graben 20 eingeritzt, dessen Außendurchmesser größer als die Seitenflächen 9 sind (Figur 10).

Das wachsüberzogene Prisma 1 wird solange in Königswasser eingetaucht, bis über den Graben 20 eine Nut 5 in das Prisma eingeätzt ist, deren Tiefe über den pn-Übergang 4 hinausreicht (Figur 11).

BAD ORIGINAL

Zum Schluß wird in an sich bekannter Weise der äußere Teil der p-leitenden Schicht 2 mit einer Zinn-Zink-Schicht 21 und die n-leitende Schicht 2 mit einer Zinnschicht 22 kontaktiert (Figur 12).

12 Figuren

6 Patentansprüche

**Patentansprüche**

1. Verstärker für im Bereich der optischen Frequenzen gelegene Wellen, bestehend aus einem kristallinen Halbleiterkörper mit lichtemissionsfähigem pn-Übergang, der die Form eines Prismas mit einer geraden Anzahl von Seiten hat, einer Vorrichtung für die Zufuhr elektrischer Pumpenergie, einem optischen Resonator und einer Koppelvorrichtung für das Signallicht, dadurch gekennzeichnet, daß das Prisma eine in seiner Mitte und wenigstens in der Ebene des pn-Überganges gelegene, stehende Wellen zwischen parallel zueinander verlaufenden Seitenflächen des Prismas unterbindende Ausnehmung hat.
2. Verstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitermaterial die Form eines sechsseitigen Prismas hat, daß der pn-Übergang eine kristallographische (111)-Fläche, und daß die seitlichen Begrenzungsflächen kristallographische (110)-Flächen des Halbleiterkristalls sind.
3. Verstärker nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung ringförmig ausgebildet ist.
4. Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Außendurchmesser der Ausnehmung mindestens gleich der Breite einer seitlichen Begrenzungsfläche des Prismas ist.

5. Verstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Halbleitergrundmaterial ein in (111)-Richtung gezogener n-leitender GaAs-Kristall vorgesehen ist.

6. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterprismas nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die seitlichen Begrenzungsflächen des Prismas durch Spaltung des kristallinen Halbleitermaterials erzeugt werden, dadurch gekennzeichnet, daß der durch Abspaltung prismatisch erzeugte Halbleiterkörper mit einer Wachsschicht überzogen wird, daß auf einer der Endflächen des prismatischen Halbleiterkörpers die Wachsschicht an der Stelle der Ausnehmung entfernt und die Ausnehmung mittels einer Ätzflüssigkeit in den Halbleiterkörper in der erforderlichen Tiefe eingebracht wird, und daß nach Entfernung der Wachsschicht der mit der Ausnehmung versehene gereinigte kristalline Halbleiterkörper mit je einem sperrsichtfreien Anschluß für die beiden unterschiedlichen Leitfähigkeitsgebiete versehen wird.

Fig.1

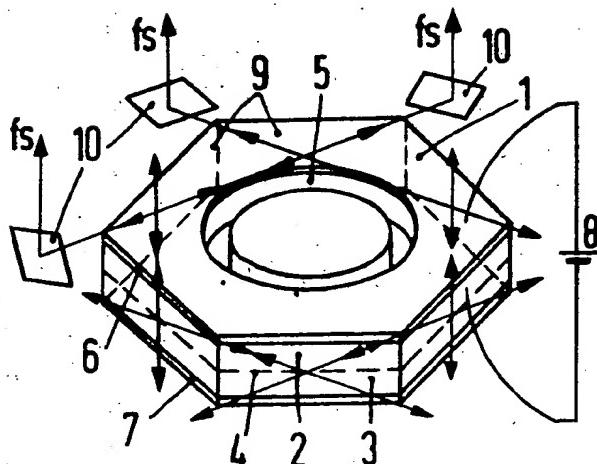


Fig. 2

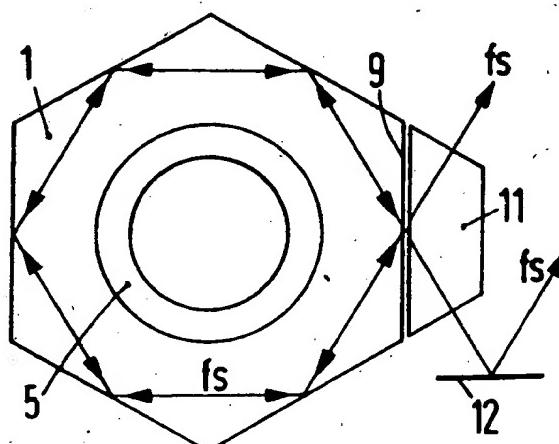


Fig. 3

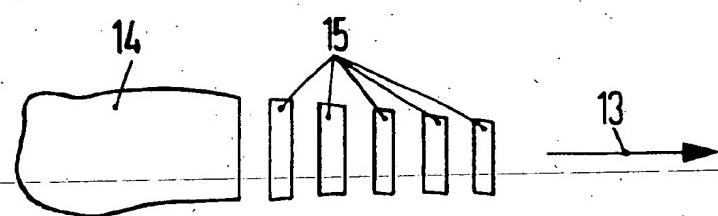


Fig. 4

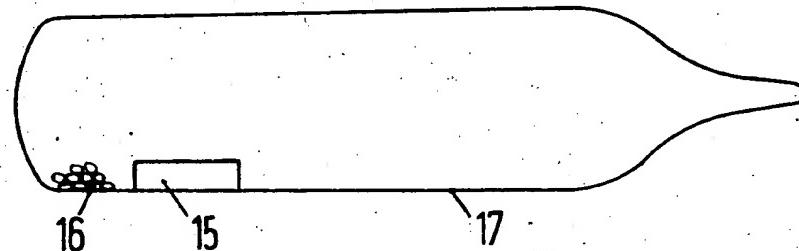


Fig. 5

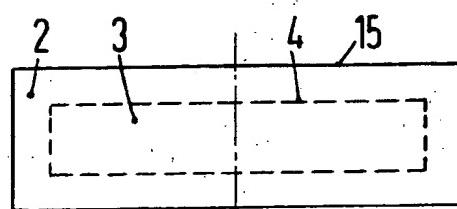
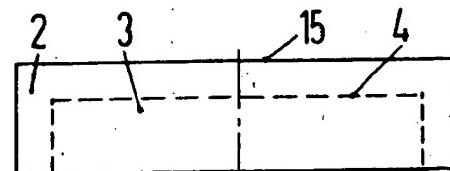
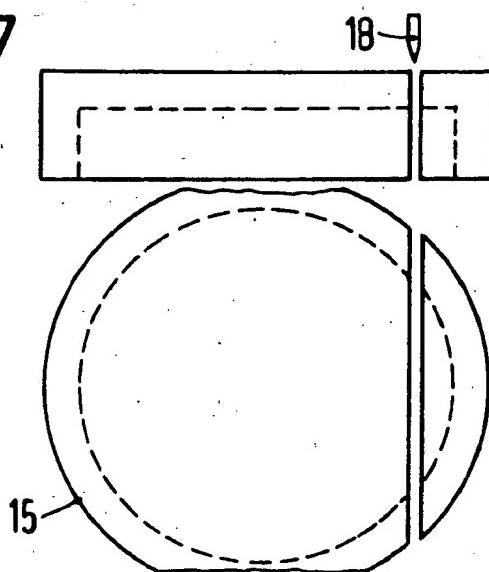
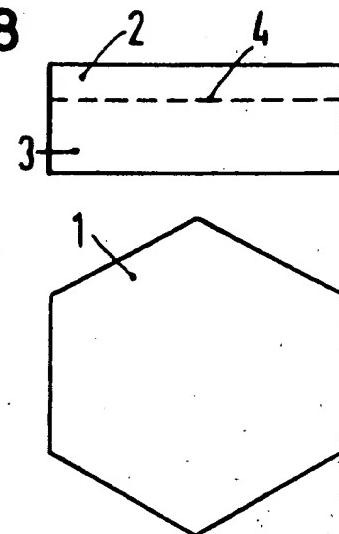
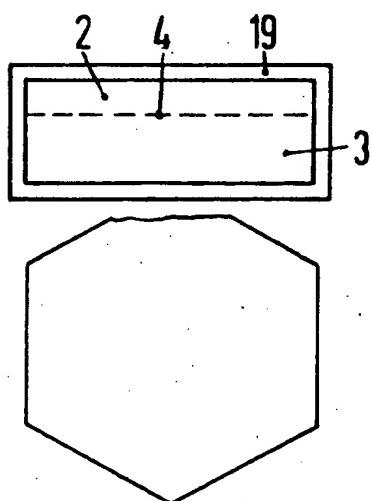
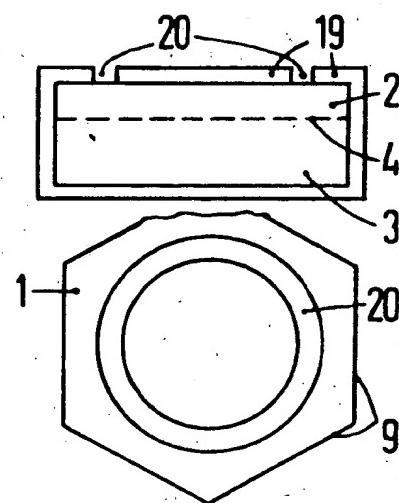
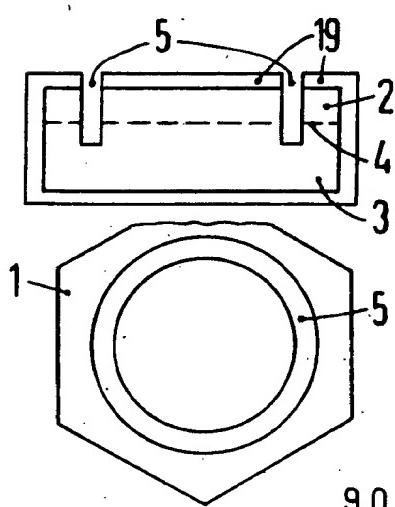
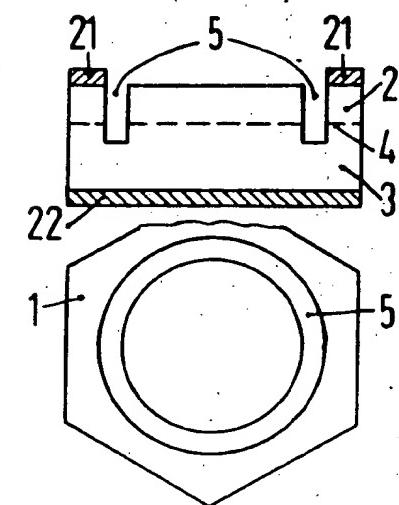


Fig. 6



**Fig. 7****Fig. 8****Fig. 9****Fig. 10****Fig. 11****Fig. 12**

909820/0676